



# EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS (MAR)

## Experiencias en España

José Antonio de la Orden Gómez  
Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica



# **VISIÓN HISTÓRICA**

## **El IGME y la recarga artificial en España**

**Desde los años 80, el IGME ha ejecutado o controlado varias experiencias de RA en España. Las más importantes son:**

- Acuífero aluvial del río Oja (La Rioja)**
- Plana del río Verde-Guadix (Granada)**
- Calcarenitas de Carmona (Sevilla)**
- Acuífero aluvial del río Guadalquivir (Sevilla)**
- Mancha Real (Jaén)**
- Alcalá la Real (Jaén)**
- Acuífero Gracia-Morenita (Jaén)**
- Valle del río Esgueva (Valladolid)**
- Acuífero de Vergel (Alicante)**

**La mayor parte se sitúan sobre la España “seca”  
(El sur del país y el arco mediterráneo)**



ATLANTIC OCEAN

PORTUGAL



MEDITERRANEAN SEA

# **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO OJA.**

- **Espesor del acuífero: 5 a 20 m.**
- **Velocidad del flujo subterráneo: 200-400 m/d.**
- **El acuífero está conectado con el río, que permanece seco durante el estío.**
- **Tuvo lugar entre 1987-1990.**
- **Sistema de recarga: 3 balsas y canales.**
- **Volumen infiltrado: 2.5-5 Mm<sup>3</sup>/a**
- **El agua de recarga procedía de los excedentes invernales del río, cuya calidad era excelente.**

## **PROBLEMAS:**

- **Colmatación. La tasa de infiltración cayó desde 19 m/d hasta 1 m/d después de 4 años de operación.**
- **La descarga subterránea del agua recargada hacia el río tenía lugar en un tiempo menor de un mes.**
- **Este acuífero no presenta adecuadas características hidrodinámicas para la RA.**

# **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO OJA.**



## **BALSA DE INFILTRACION**

## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO VERDE.**

- **En la zona de Guadix se riegan 3,000 ha de cultivos de alto rendimiento.**
- **Aguas arriba de los cultivos, existía una mina de hierro que precisaba un drenaje constante, evaluado en 7 Mm<sup>3</sup>/a.**
- **Esta agua se vertía al cauce del río Verde, pero únicamente el 50% se aprovechaba. El resto se perdía por la ausencia de sistemas de regulación de recursos hídricos.**
- **Por ello, se planificó una RA para evitar esta pérdida de agua, utilizándola para dicha recarga del acuífero de Guadix.**
- **Características del acuífero:**
  - **Espesor: 80-300 m**
  - **Transmisividad: 80-800 m/día**
  - **Porosidad efectiva: 3-15%.**







## **PRINCIPALES DATOS DE LA RA DE GUADIX.**

- **La RA se hacía mediante 6 balsas de infiltración, con un area total de 11,550 m<sup>2</sup>.**
- **La calidad del agua era óptima, con muy bajos contenidos en sólidos en suspensión.**
- **El caudal recargado fue de hasta 200 L/s.**
- **Volúmenes medios infiltrados: 17,000 m<sup>3</sup>/d**
- **LA INSTALACION FUNCIONO CORRECTAMENTE DURANTE 10 AÑOS, HASTA QUE LA ACTIVIDAD MINERA CESÓ.**
- **En la actualidad, los agricultores no disponen de esta agua, por lo cual sufren más períodos de escasez y menos separados.**

## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO GUADALQUIVIR.**

- Esta RA se planteó con el objeto de paliar los déficits de agua durante el verano para el riego de 30,000 ha en los márgenes del río Guadalquivir.**
- El agua de recarga procede del canal del Guadalquivir. Presenta un alto contenido en sólidos en suspensión, de hasta 250 mg/L, por lo cual fue preciso construir una balsa previa de decantación en la instalación de recarga.**
- La instalación consiste en una zanja de 5 m de profundidad, 500 m de largo y 12 m de ancho, con un filtro de gravas en el fondo y varios pozos completamente penetrantes en el acuífero, a través de los cuales se efectúa la recarga.**





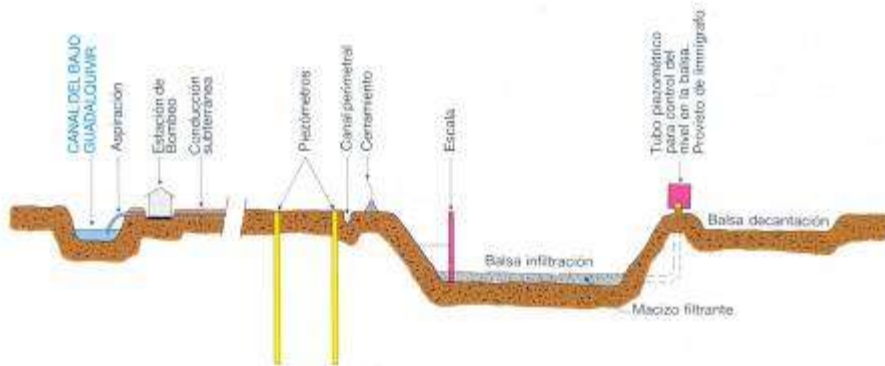
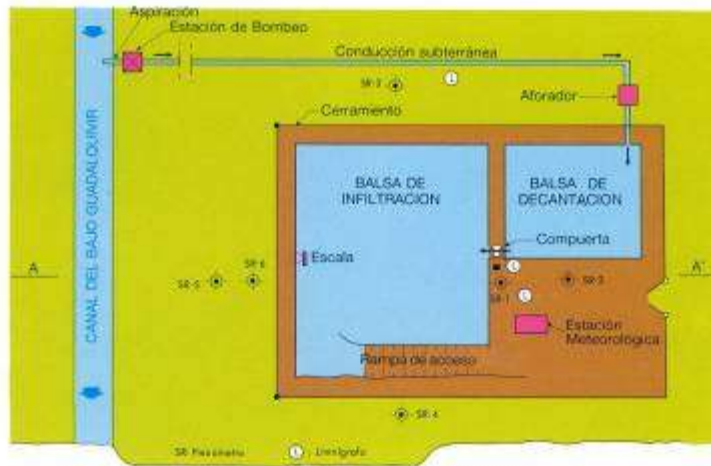
# **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO GUADALQUIVIR.**

## **RESULTADOS:**

- **Un rápido aumento del nivel del agua, de hasta 4 m, en las proximidades de la zanja. A 500 m de distancia, el aumento fue de 1.5 m con un desfase de 7-10 días desde la recarga.**
- **Velocidad muy alta del agua subterránea, 25-70 m/día, por lo cual se estima que el agua recargada permanece en el acuífero entre 60-150 días antes de que se descargue naturalmente hacia el río. Este tiempo no es suficiente para cumplir con los objetivos de la recarga.**
- **La balsa de decantación no pudo evitar la colmatación y la tasa de infiltración se redujo rápidamente.**

## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE CARMONA.**

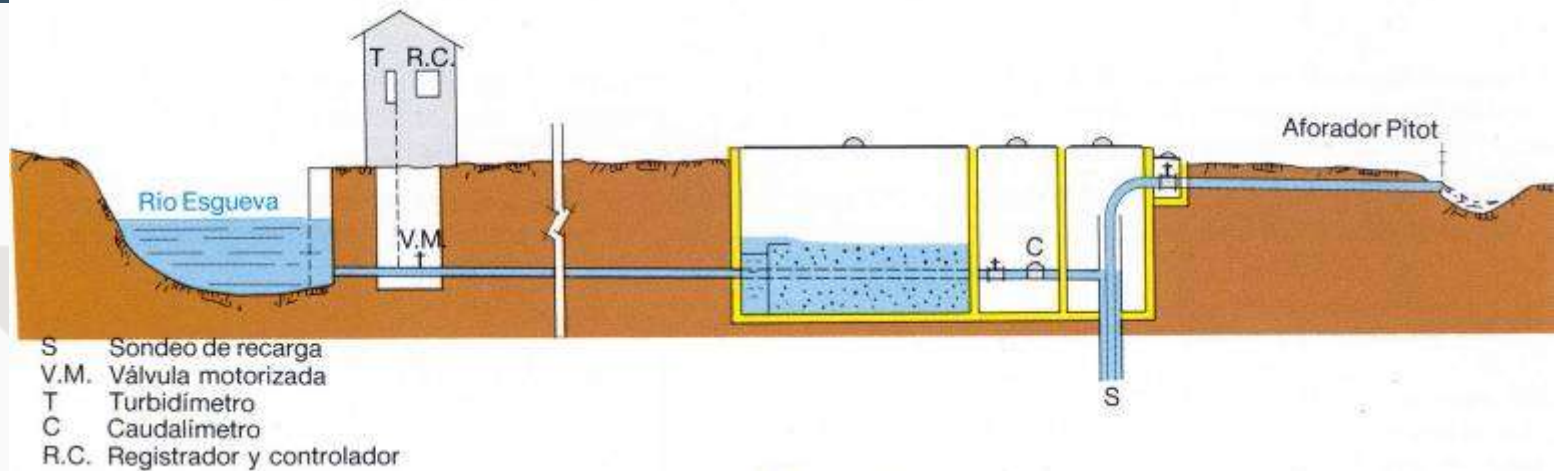
- La RA se planeó con el fin de paliar el déficit de agua que presenta la agricultura de regadío de la zona, que está evaluado en 9 Mm<sup>3</sup>/a.**
- El sistema de recarga consistía en una balsa de decantación, una balsa de infiltración y un pozo de 9 m de profundidad y 1.2 m de diámetro.**
- El agua de recarga procedía del canal del Bajo Guadalquivir, con un un elevado contenido en sólidos en suspensión, y, además, contaminación ocasional por metales pesados.**
- Se llevaron a cabo varios ensayos piloto, de duración siempre menor de un mes.**
- La no disponibilidad de agua, tanto en cantidad como con la calidad requerida, obligó a abandonar esta experiencia de RA.**





## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL VALLE DEL RIO ESGUEVA.**

- **La recarga se hizo en un acuífero profundo de 100 m de espesor recubierto por una capa impermeable de 200 m de espesor.**
- **Transmisividad 30 a 180 m<sup>2</sup>/d.**
- **El agua se infiltraba a través de un sondeo de 300 m de profundidad, con un caudal de 15 L/s. Este caudal disminuyó rápidamente a medida que el nivel del agua en el sondeo era mayor.**
- **La cantidad de sólidos en suspensión era de 2-3 mg/L, excepto en época de avenidas, en que llegaba a ser de 30 mg/L. Por ello hubo que instalar un filtro de grava que era capaz de reducir los sólidos en suspensión entrantes al sondeo hasta 0.5 mg/L.**
- **Los resultados fueron satisfactorios.**



## ESQUEMA GENERAL



**TOMA DE AGUA DEL RÍO**



**TURBIDIMETRO**


## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE JIJONA.**

- **La RA se planeó con el fin de aprovechar los excedentes del manantial de Nuches y la escorrentía del río Coscón asociada a fuertes precipitaciones mediante un sistema de recarga dual: un pozo de recarga y un sistema de embalses de infiltración contruidos en el cauce del barranco de vaso permeable.**



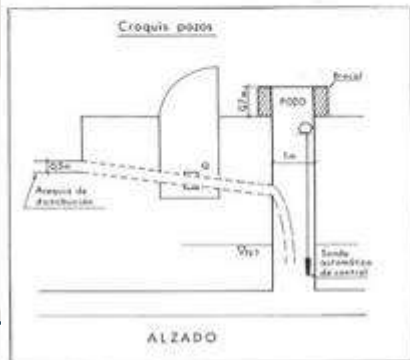
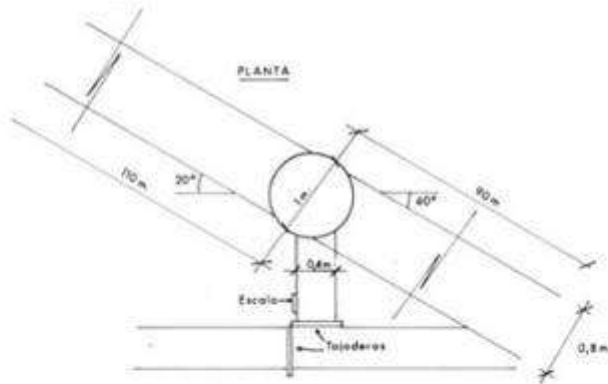
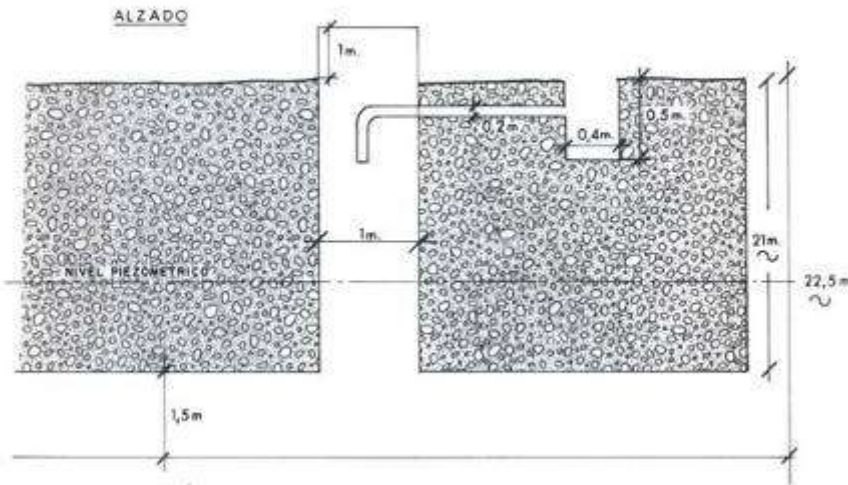


## **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE VERGEL.**

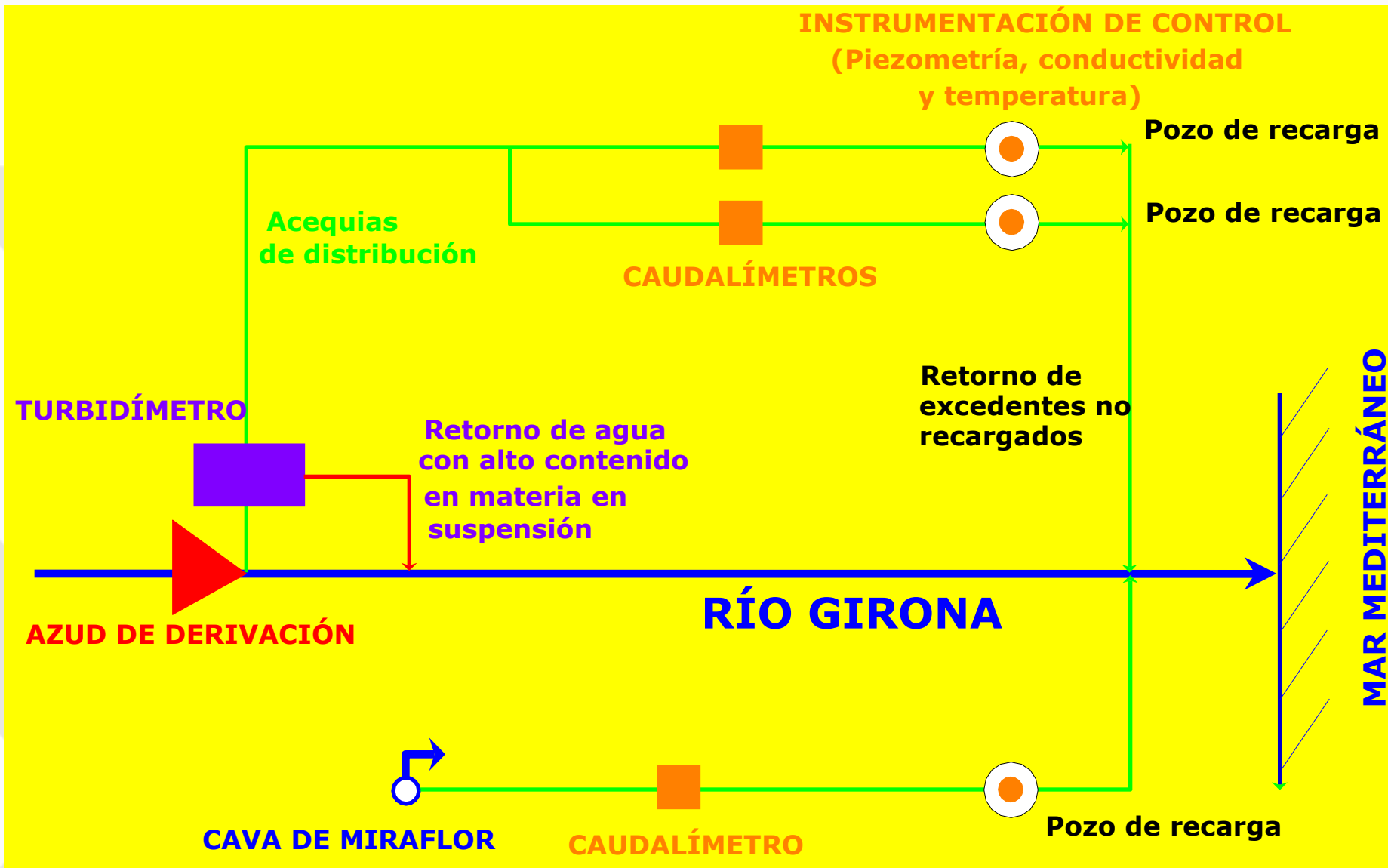
- **Acuífero detrítico cuaternario**
  - **18 km<sup>2</sup> superficie**
  - **Recursos: 11 Mm<sup>3</sup>/a**
  - **Transmisividad: 1000 a 10000 m<sup>2</sup>/d**
  - **Porosidad efectiva: 5% to 15%**
- 
- **Comenzaron a realizarla los agricultores de la zona, utilizando excedentes de regadío procedentes de una galería de drenaje. Lleva realizandose desde 1985.**
  - **El agua de recarga procede del mismo acuífero, y se drena a través de una galería construida para transportar el agua subterránea hacia las áreas de regadío.**
  - **El agua de recarga tiene una mejor calidad que el agua nativa.**
  - **Volúmenes recargados: 0.8 to 1.2 Mm<sup>3</sup>/a**

# Croquis de los pozos de recarga

# RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE VERGEL.









# **RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE VERGEL.**

## **EFECTOS Y BENEFICIOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL:**

- Se ha detectado un aumento del nivel freático de hasta 2 m en los pozos de recarga.**
- Una moderada mejora en la calidad del agua, únicamente detectada en los pozos de recarga.**
- Un aumento del 14% de los recursos del acuífero.**
- Muy bajos costes de operación, debido a que se están utilizando pozos actualmente abandonados, y acequias de riego que son usadas y mantenidas por los agricultores. El coste es de aproximadamente 0,01 €/m<sup>3</sup>.**
- No se han detectado problemas de colmatación, porque los caudales de recarga son mucho menores que la capacidad de infiltración de los pozos (del orden de la tercera parte).**



# PROYECTOS ACTUALES



## OBJETIVO

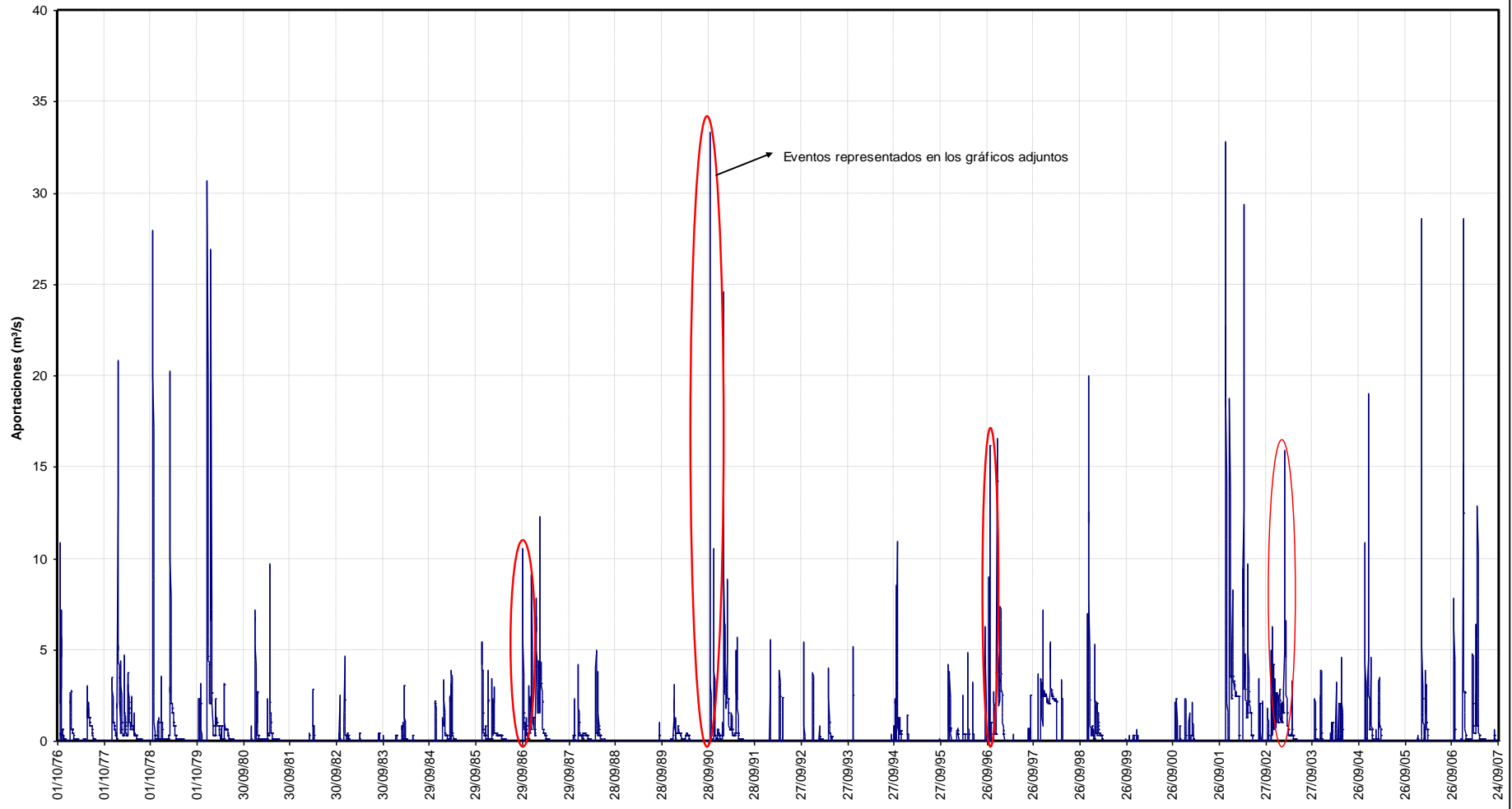
**Reemplazar captaciones de agua potable del acuífero del Llano de Inca-Sa Pobla (contaminado por nitratos) por agua del acuífero de Crestatx, compensando el incremento de explotación de este último con recarga artificial.**

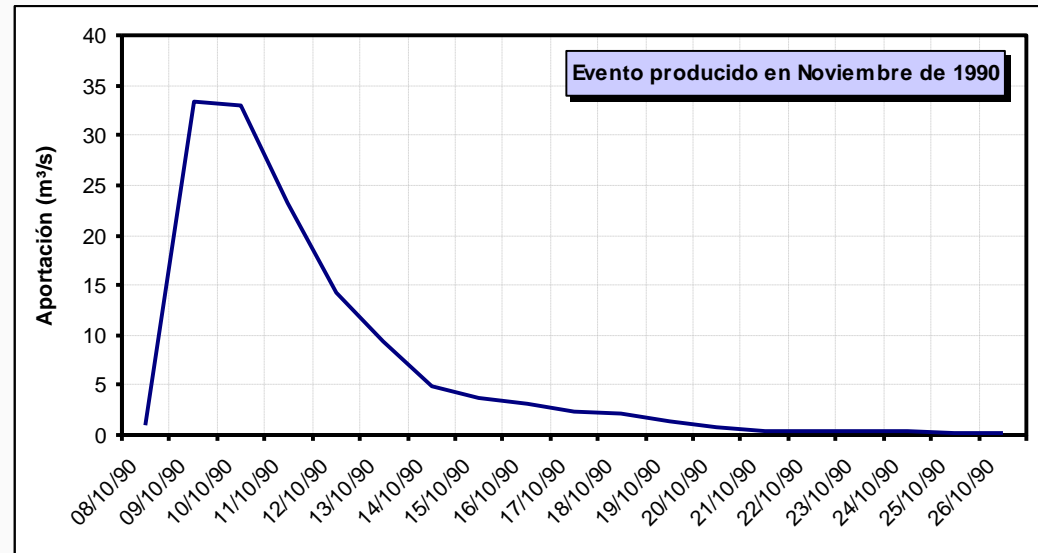
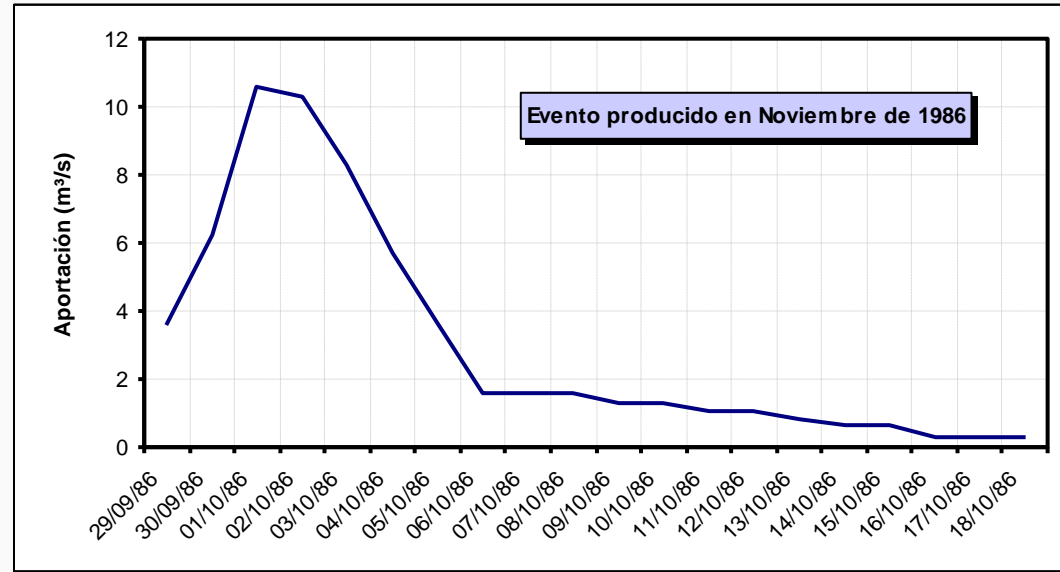
**La fuente de agua para la recarga es la descarga natural de los manantiales de las fuentes “Ufanés de Gabellí”.**

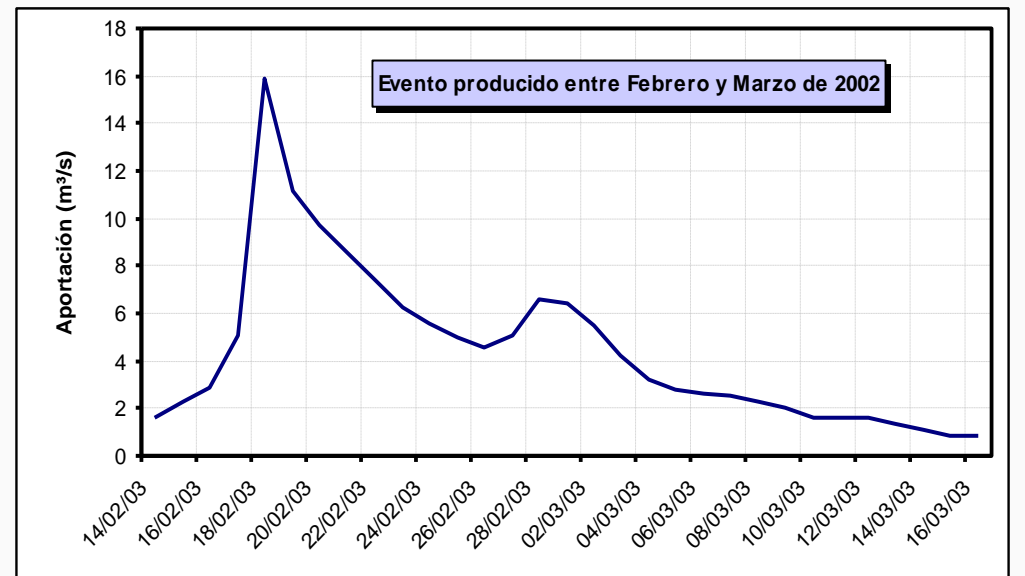
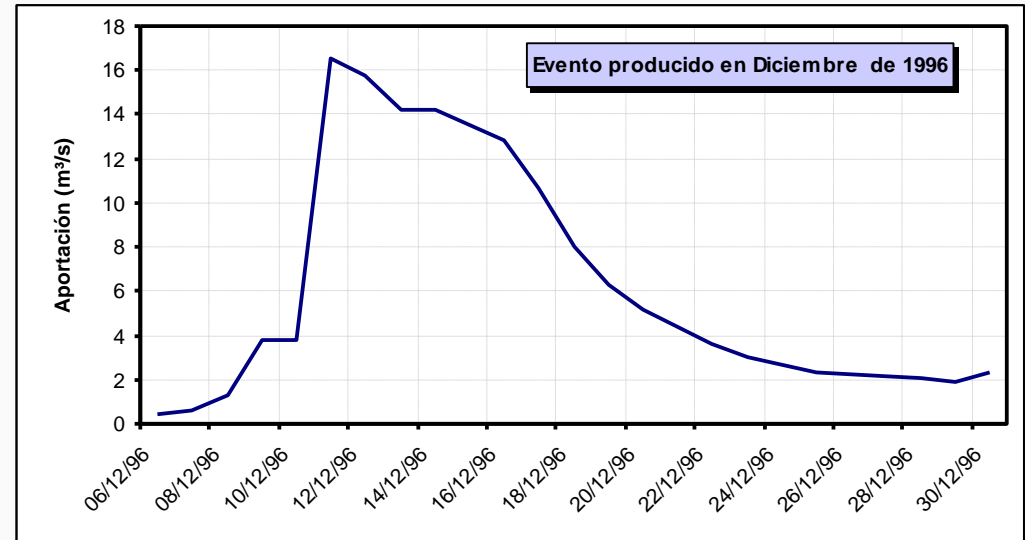
**La recarga se realizará mediante sondeos de inyección en el acuífero calizo de Crestatx.**



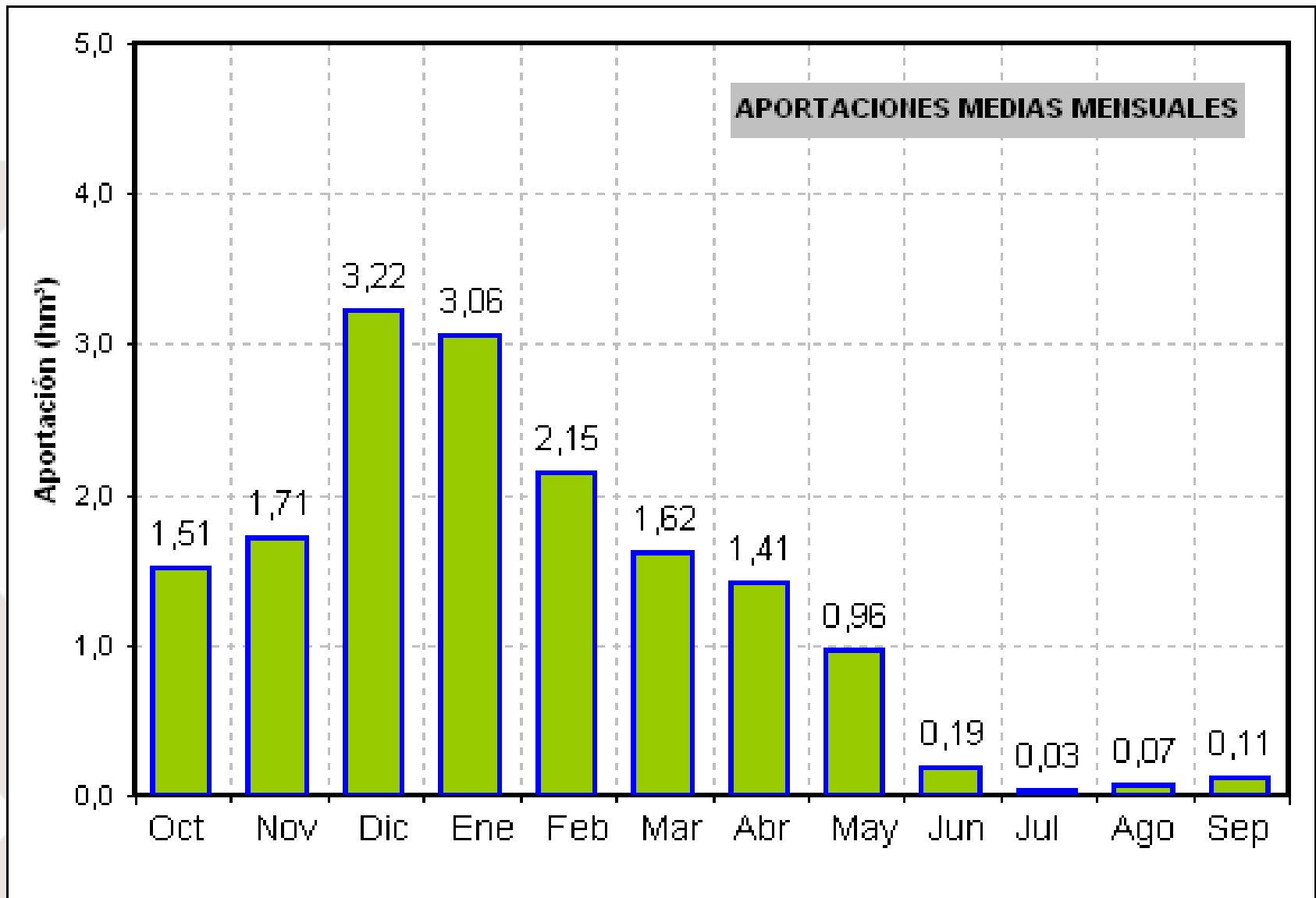
Aportaciones diarias registradas en la estación de aforos E11/04 Torrent de San Miguel (1976-2007)





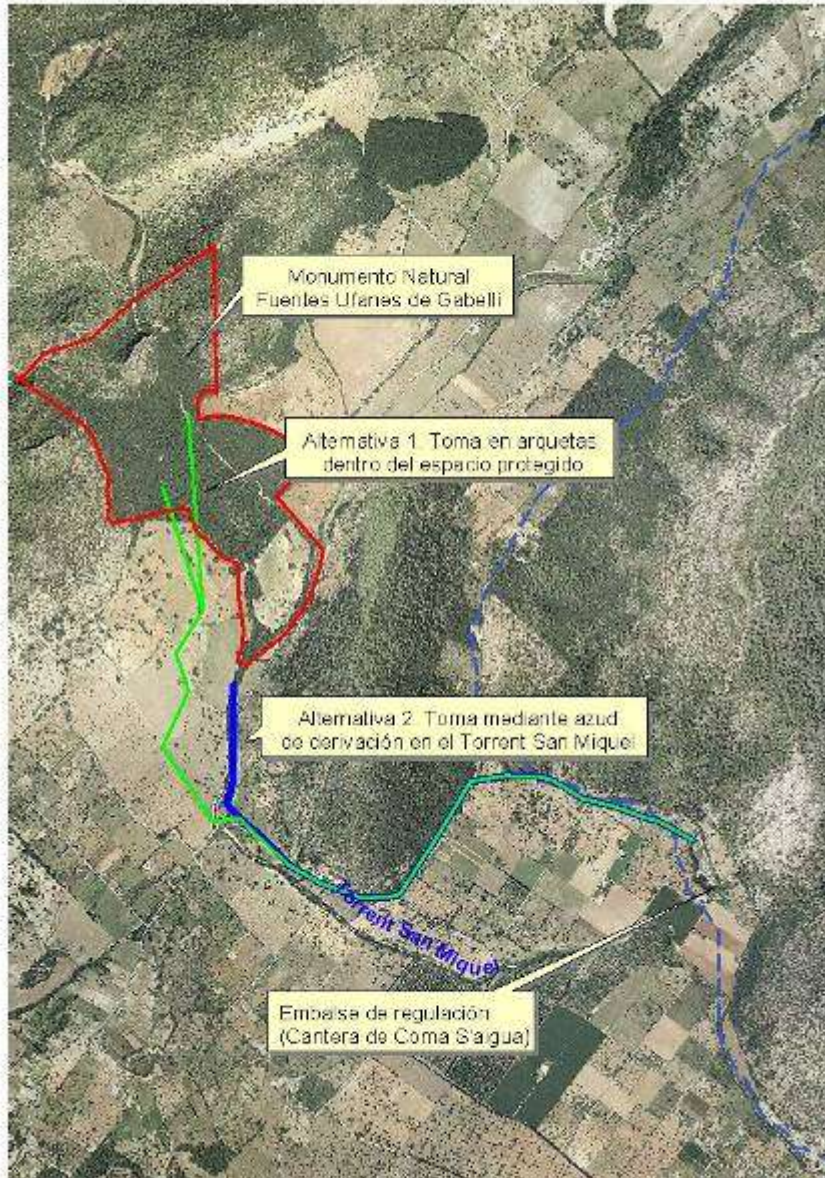






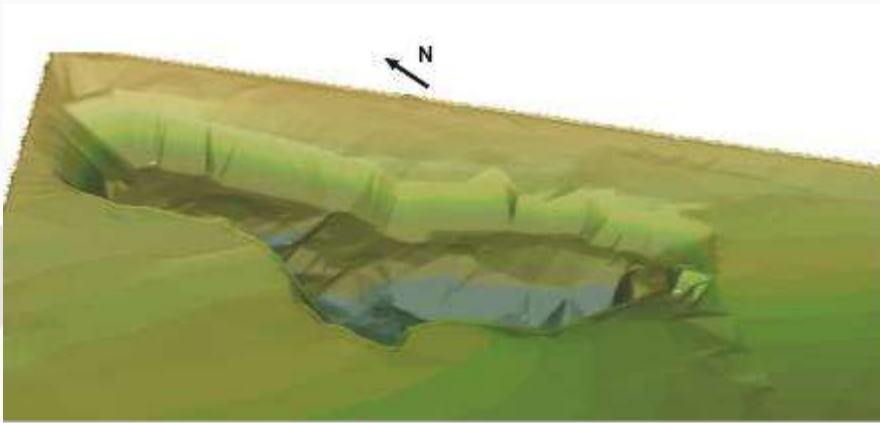
## ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

- **Captación del agua de las Ufanés.**
- **Elemento intermedio de regulación de caudales.**
- **Elemento de decantación.**
- **Sondeos de inyección.**
- **Conducciones.**

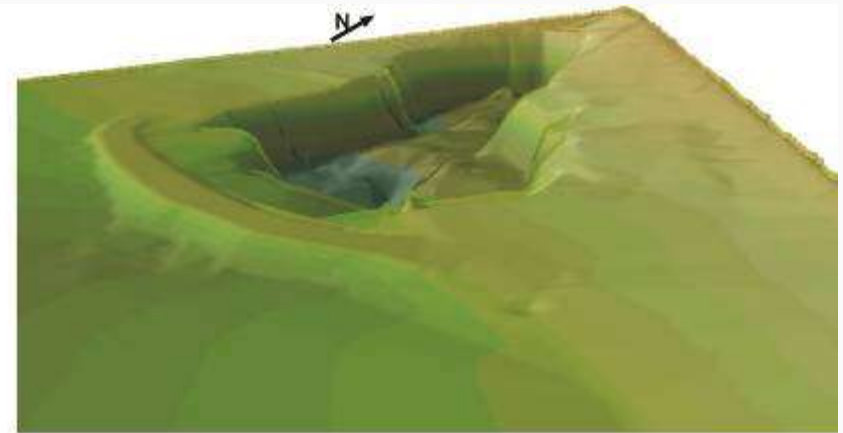




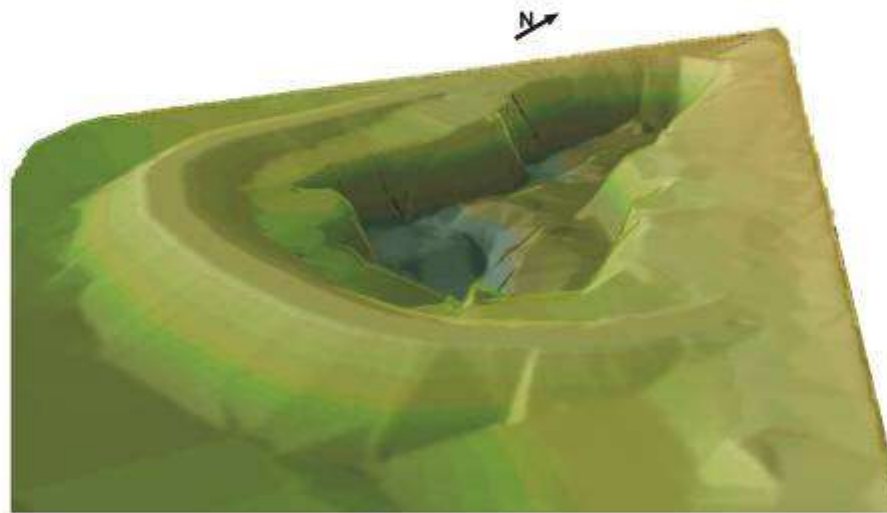




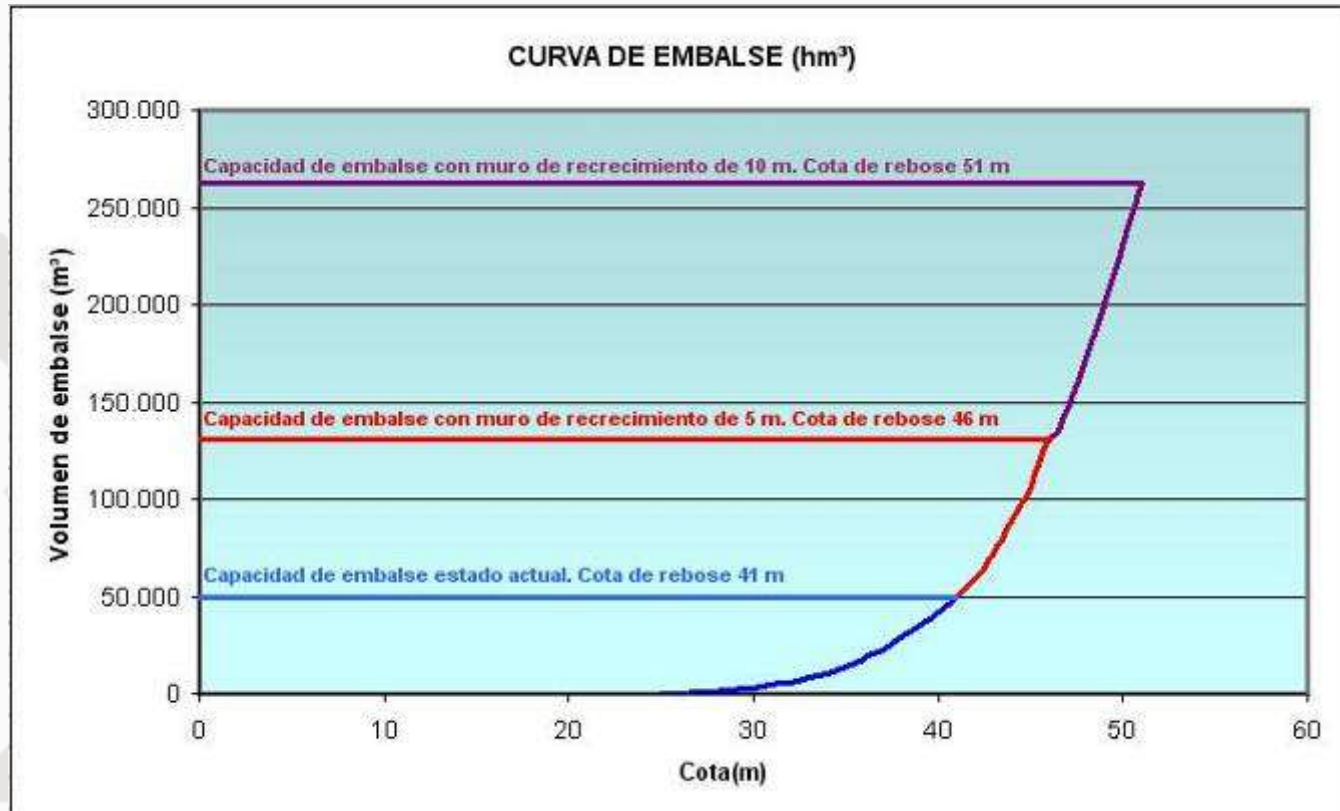
MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA  
ESTADO ACTUAL



MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA  
MURO DE RECRECIMIENTO DE 5 m  
POR ENCIMA DE LA COTA DE REBOSE NATURAL



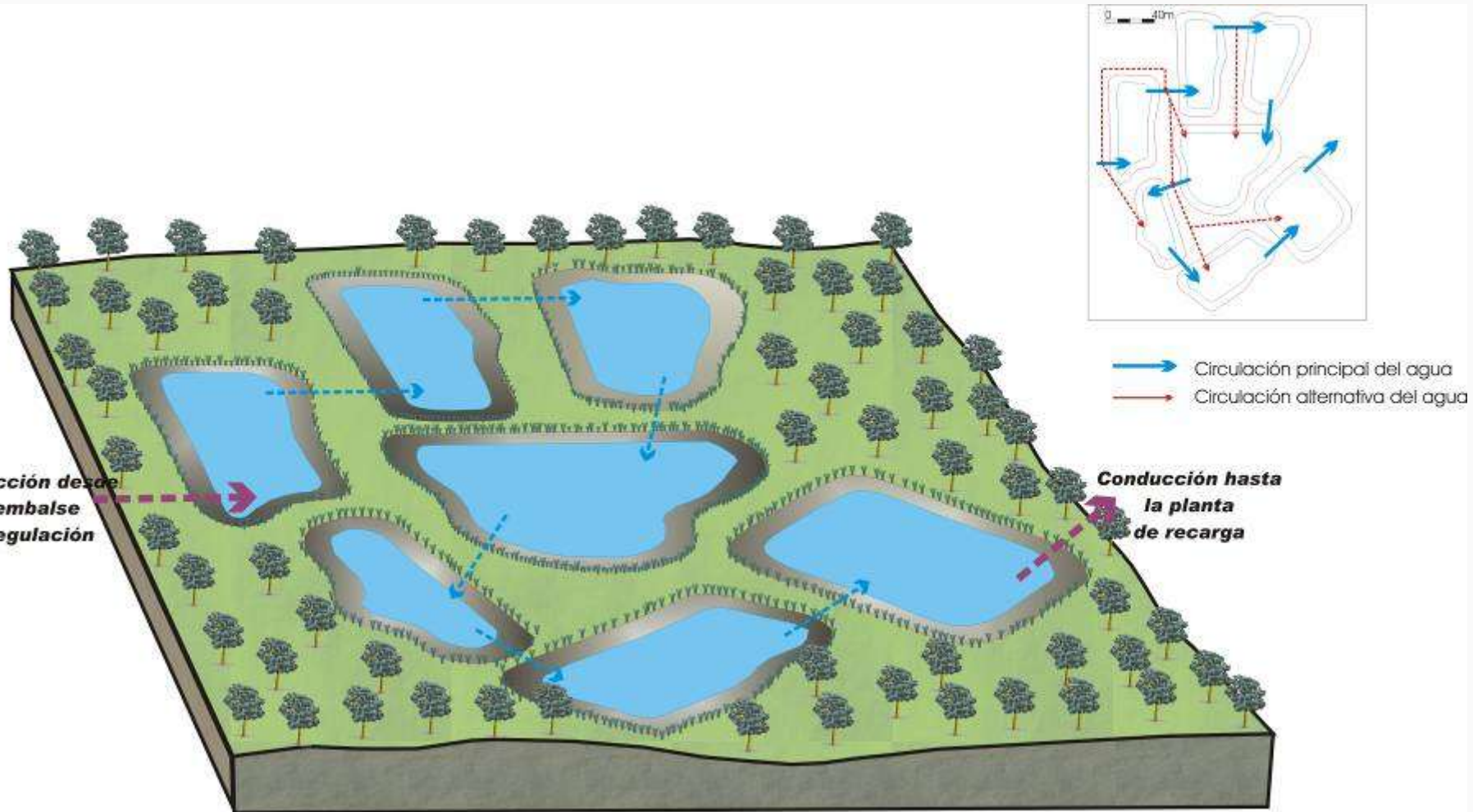
MODELO DIGITAL DEL TERRENO CANTERA COMA S'AIGUA  
MURO DE RECRECIMIENTO DE 10 m  
POR ENCIMA DE LA COTA DE REBOSE NATURAL



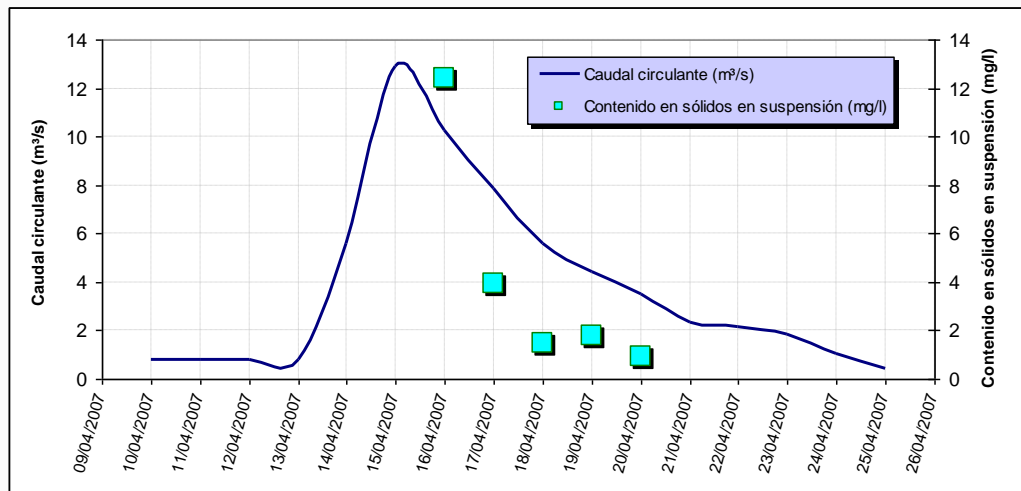
	Nivel mínimo de embalse (m.)	Nivel máximo de embalse (m)	Capacidad de embalse útil m <sup>3</sup>
Embalse sin recrecer	25	40.0	42.000
Embalse con muro de 5 m	25	44.8	100.000
Embalse con muro 10 m	25	49.6	217.000





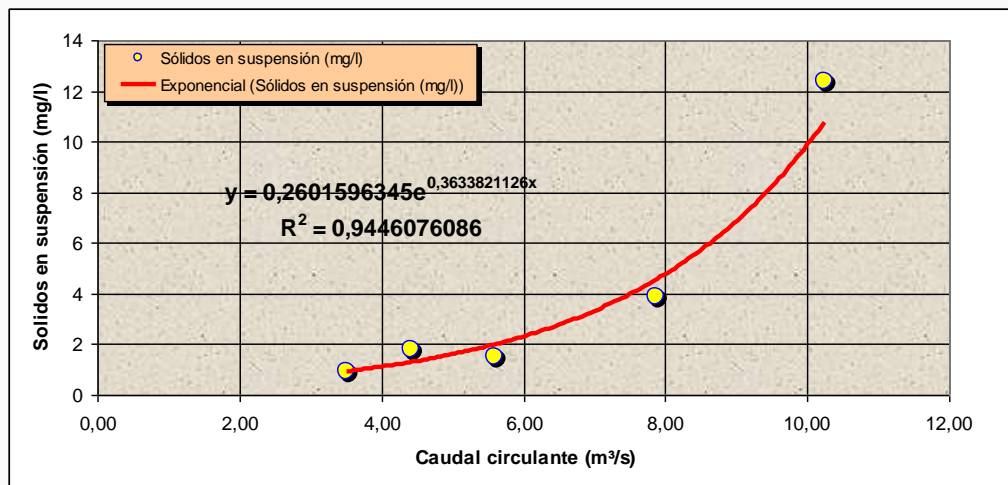


## ESTUDIO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN



### Contenido en sólidos en suspensión (mg/l)

Mínimo	0,26
Promedio	56,0
Máximo	47.891,5
Percentil 75	0,57
Percentil 85	0,71



## MODELO DE FLUJO

### PROGRAMA:

Visual MODFLOW

### MALLADO SUPERFICIAL:

Superficie modelada: 39 km<sup>2</sup>

65 columnas y 60 filas

Celdas cuadradas de 100 m de lado

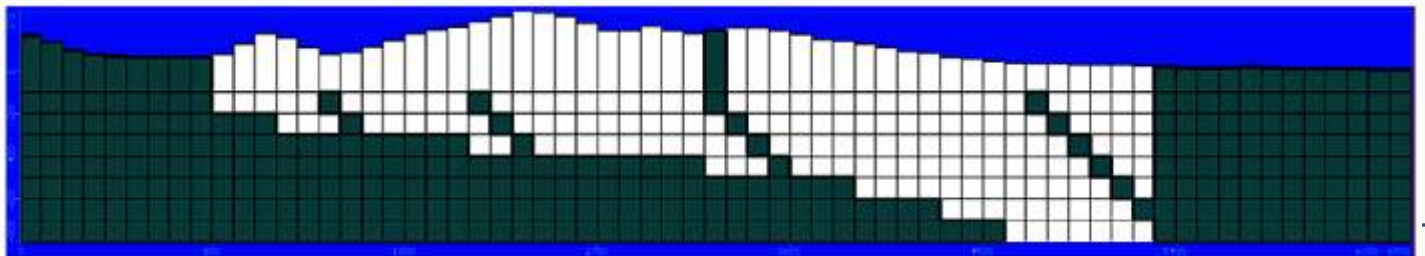
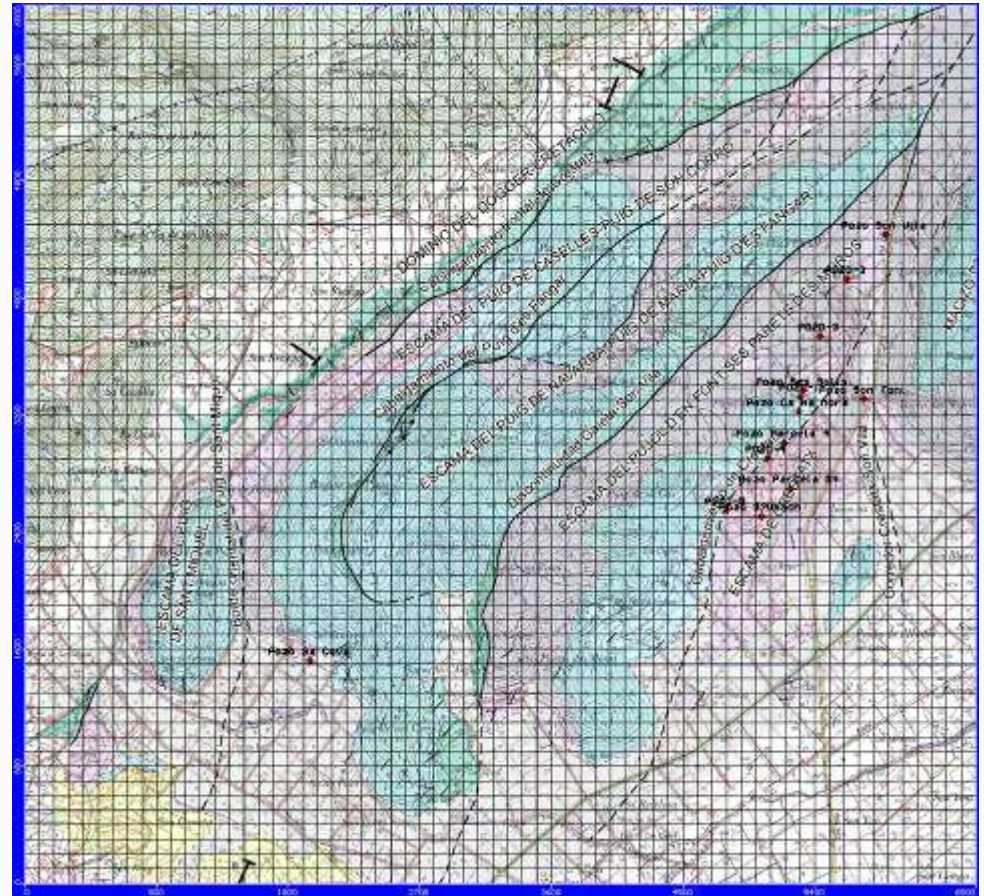
### CAPAS:

8 Capas

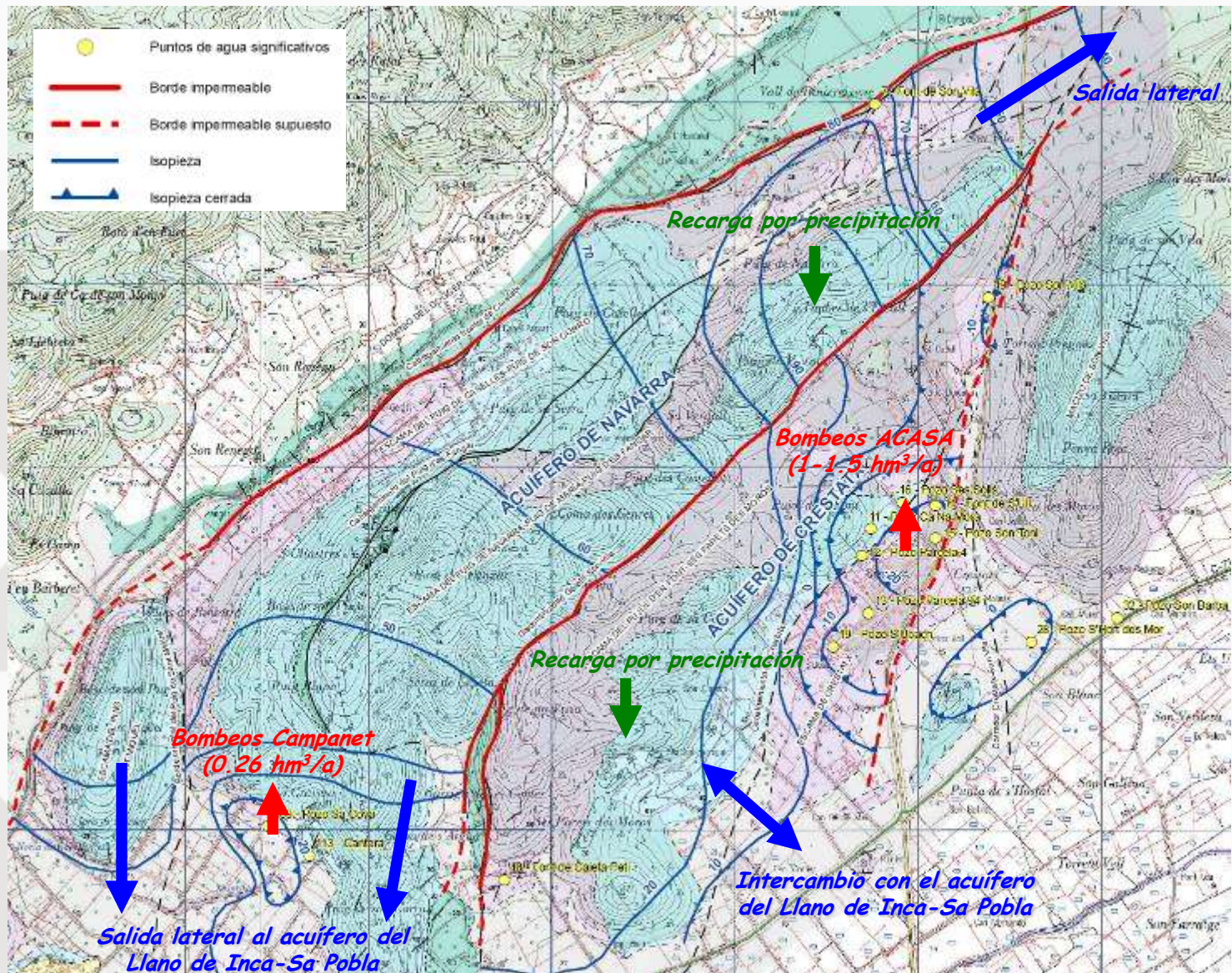
Capa superficial (libre): desde cota del terreno hasta 100 m.b.n.m.

Resto de capas (confinadas):

Espesor de 100 m cada una, hasta alcanzar los 800 m.b.n.m.



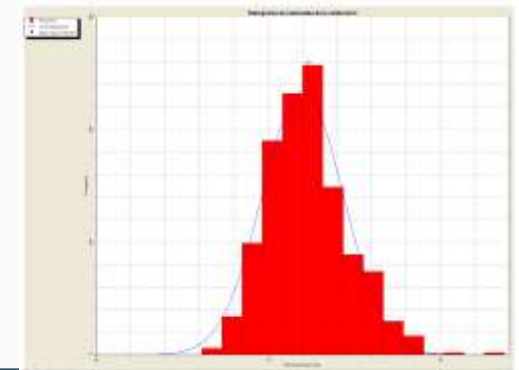
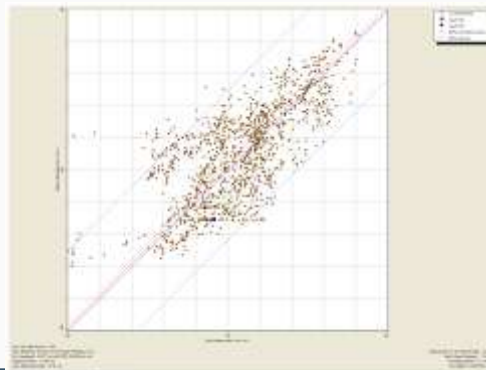
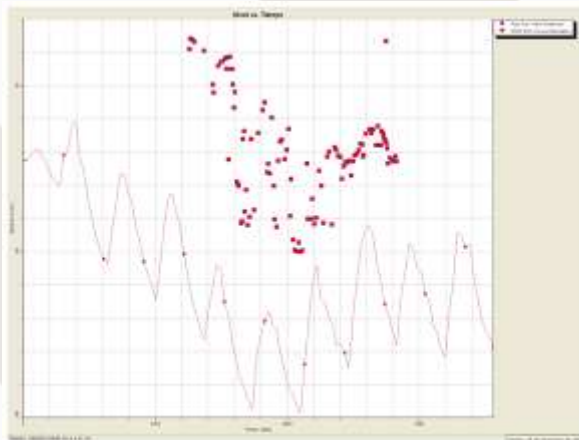
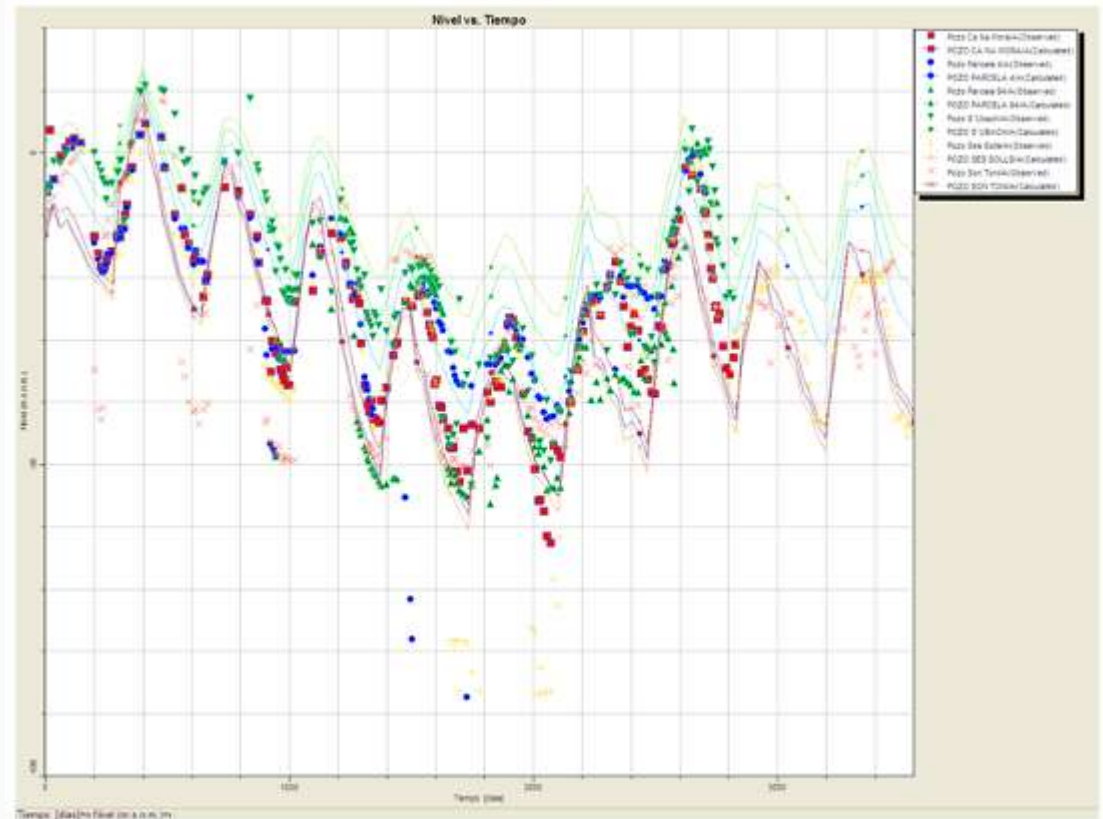
# ACUÍFERO DE CRESTATX (MALLORCA)



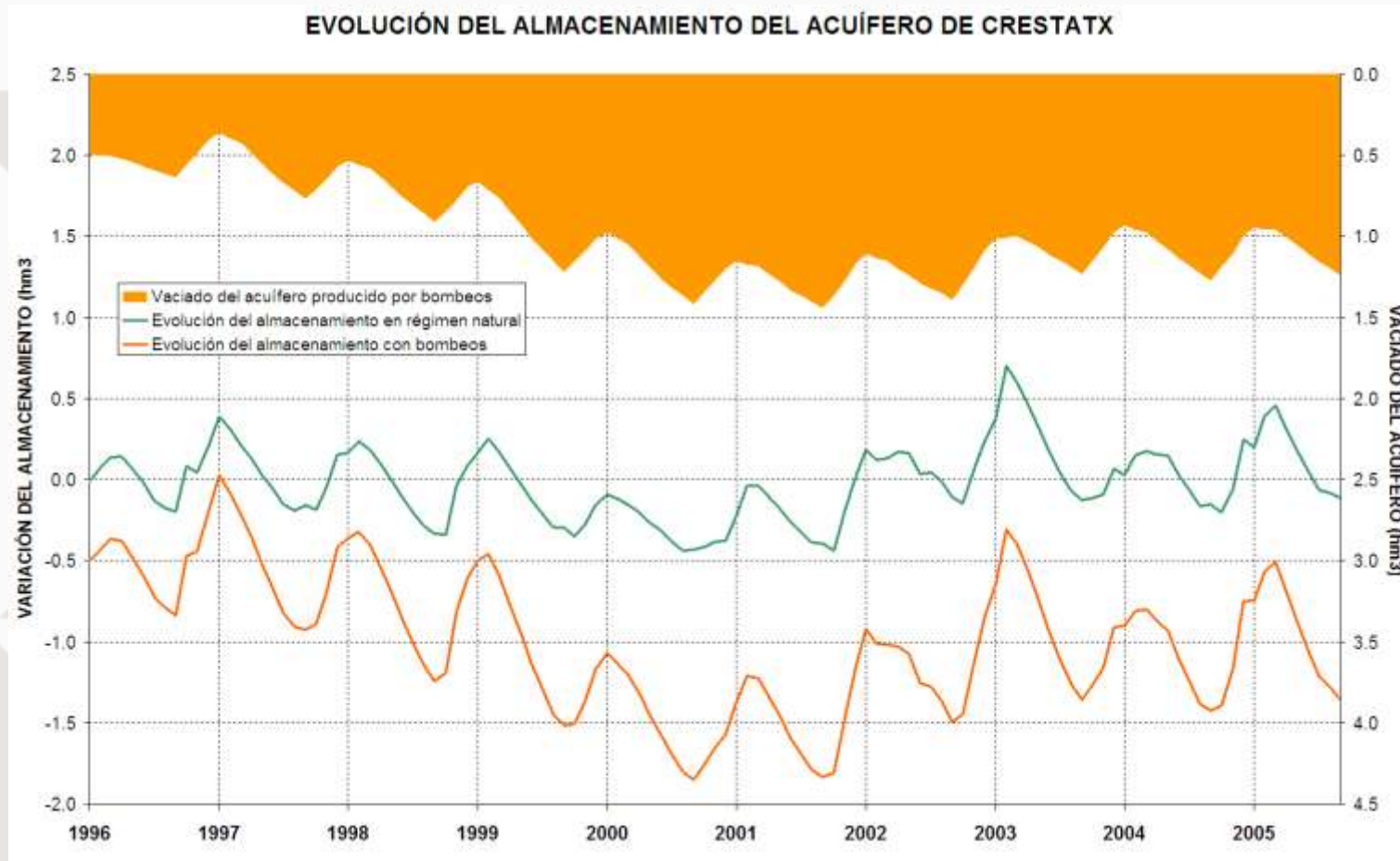
Se trató de reproducir las evoluciones piezométricas disponibles, que corresponden a los pozos de explotación de ACASA en el acuífero de Crestatx.

Los parámetros y factores que hubo que ajustar fueron:

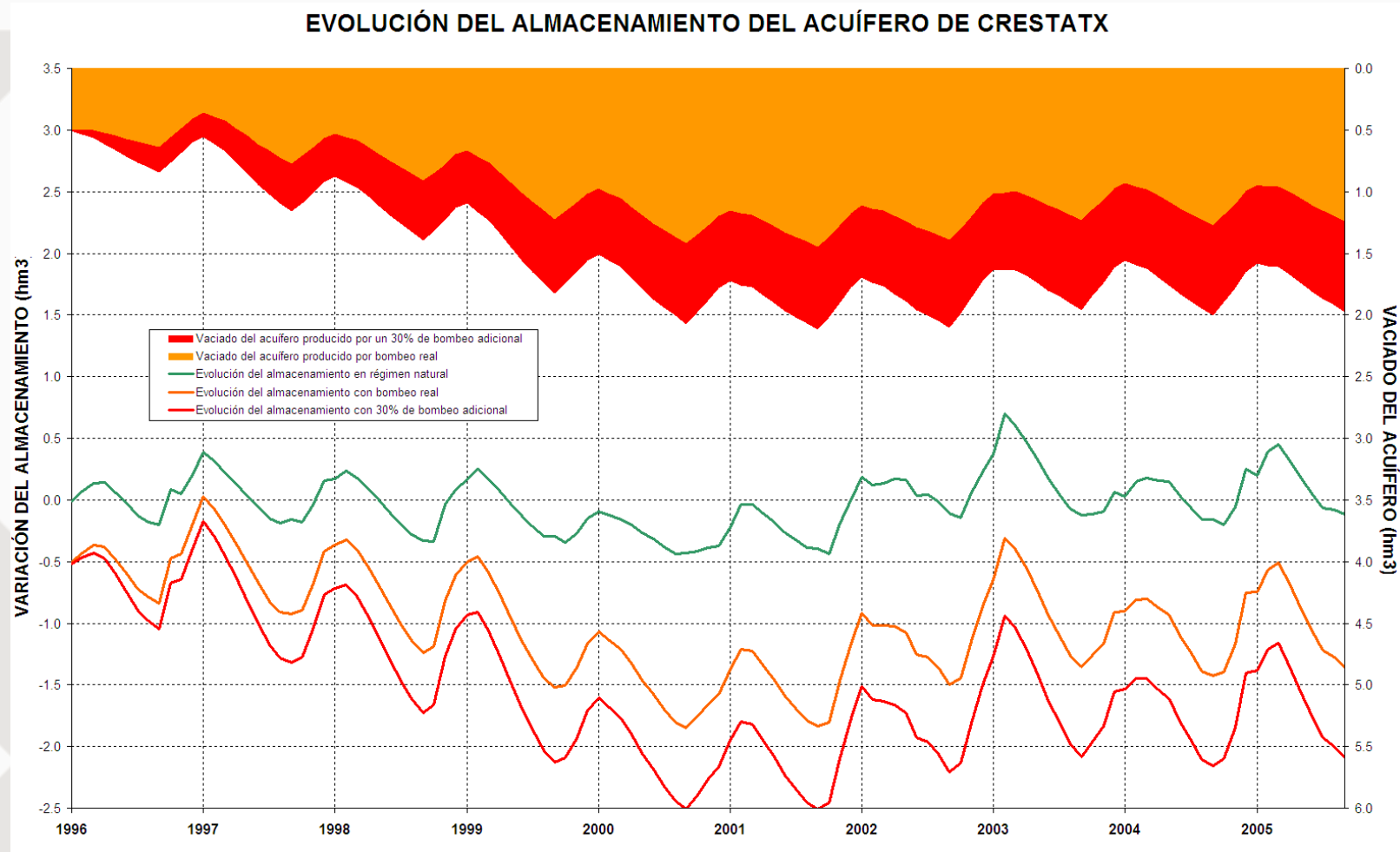
- Parámetros hidrogeológicos (permeabilidad, almacenamiento).
- Condiciones iniciales (piezometría).
- Recarga por infiltración de las precipitaciones (disminución de los valores proporcionados por Visual Balan).



## Vaciado del acuífero producido por los bombeos



## Vaciado del acuífero producido por un aumento de los bombeos en un 30%



## Simulación de la Alternativa de recarga artificial con 5 pozos de recarga y caudal máximo de inyección de 10 l/s :

- 5 pozos de recarga en la zona de Crestatx, separados entre si unos 400 m.
- Caudal máximo inyectado en cada pozo: 10 l/s.
- Valor de la recarga artificial anual: 0.70 hm<sup>3</sup>/a (65% de los recursos disponibles).



### Conclusión:

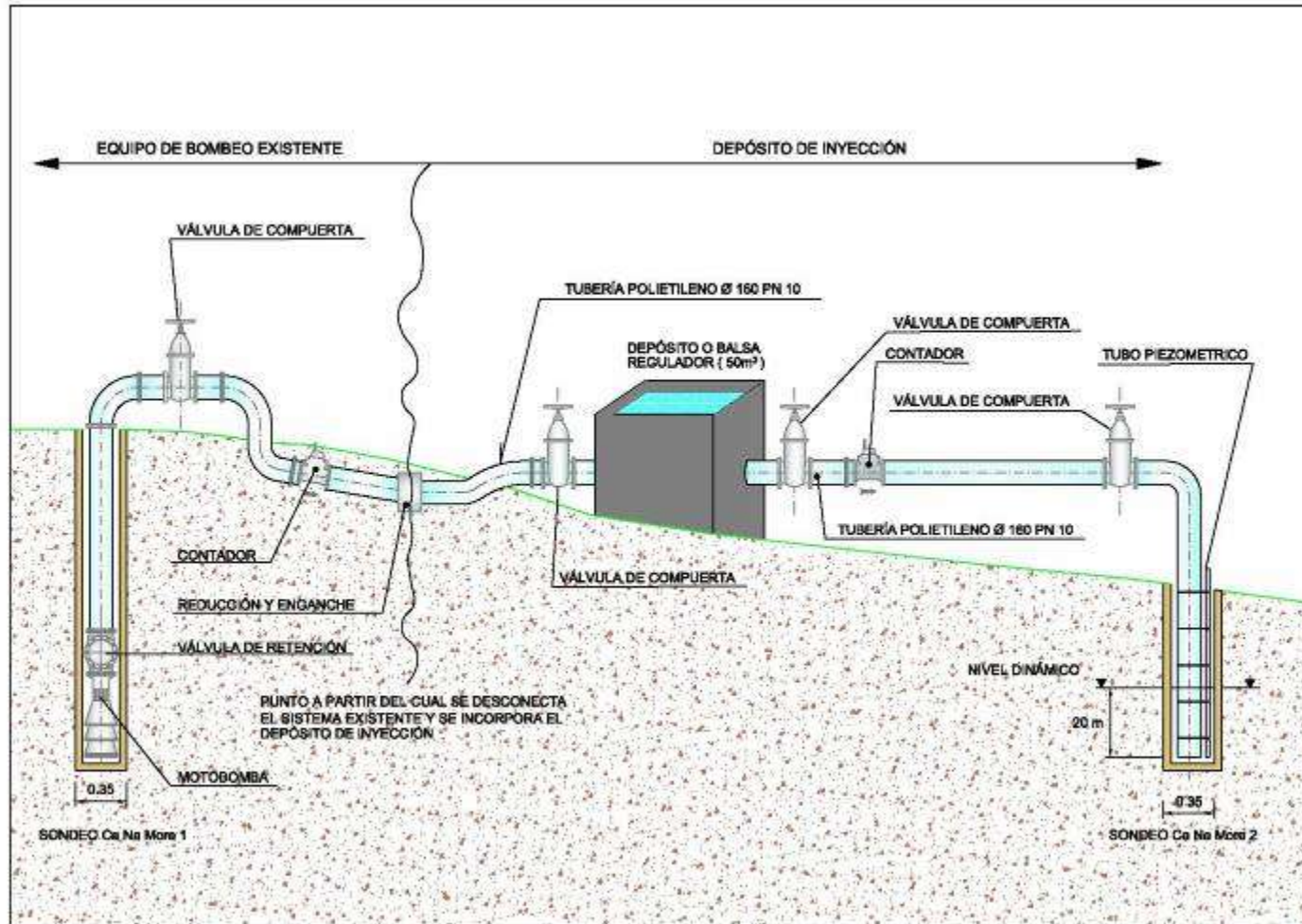
Se considera factible este escenario de recarga.

Caudales superiores a 1 hm<sup>3</sup>/año producirían un ascenso del nivel por encima de la superficie del terreno.

La capacidad máxima de almacenamiento es de unos 700.000 m<sup>3</sup>/año



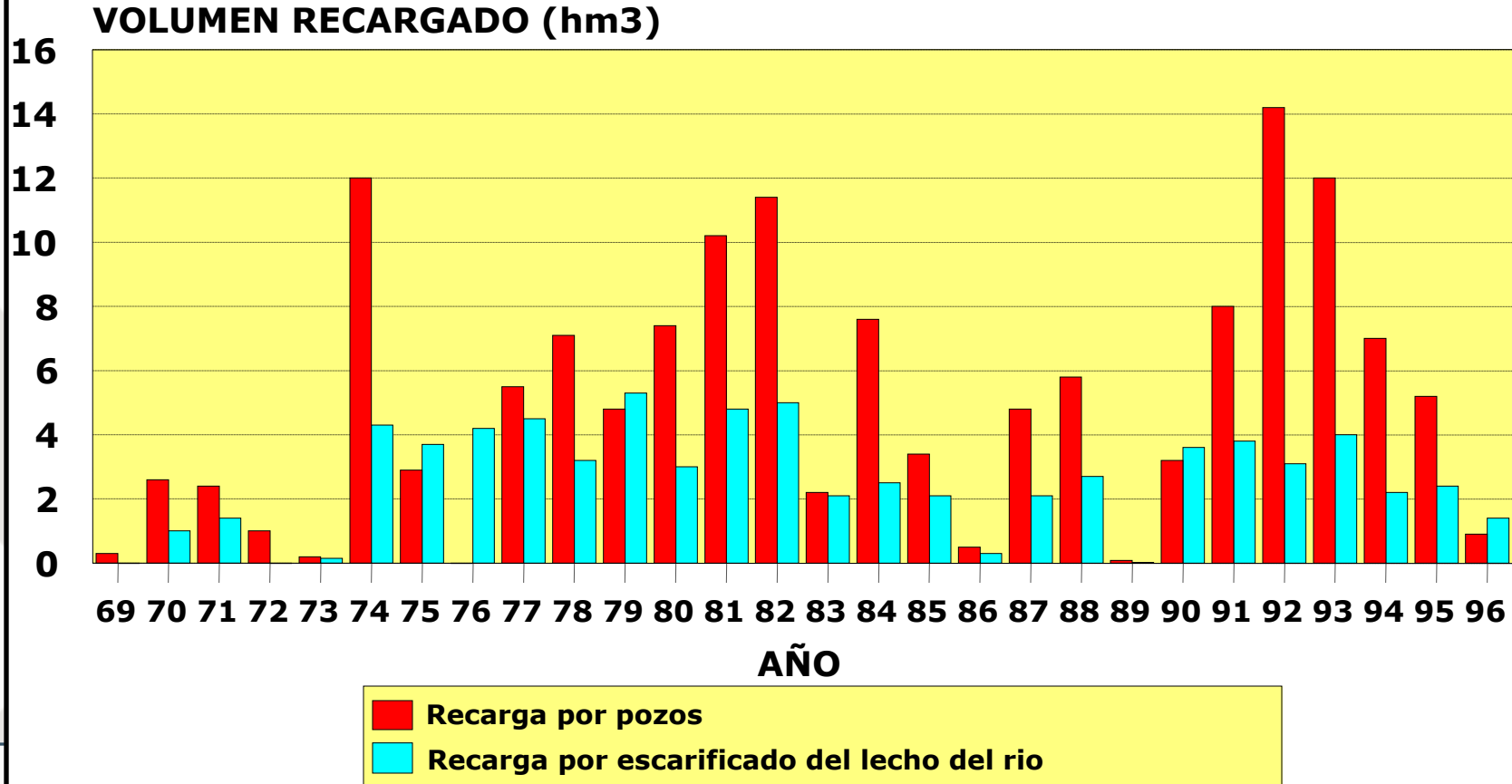
## ENSAYO DE INYECCIÓN





## Experiencias en Cataluña en los ríos Besós y Llobregat realizadas por la Agencia Catalana del Agua

### VOLUMENES RECARGADOS EN EL ALUVIAL DEL RIO LLOBREGAT (AgBar 1997)

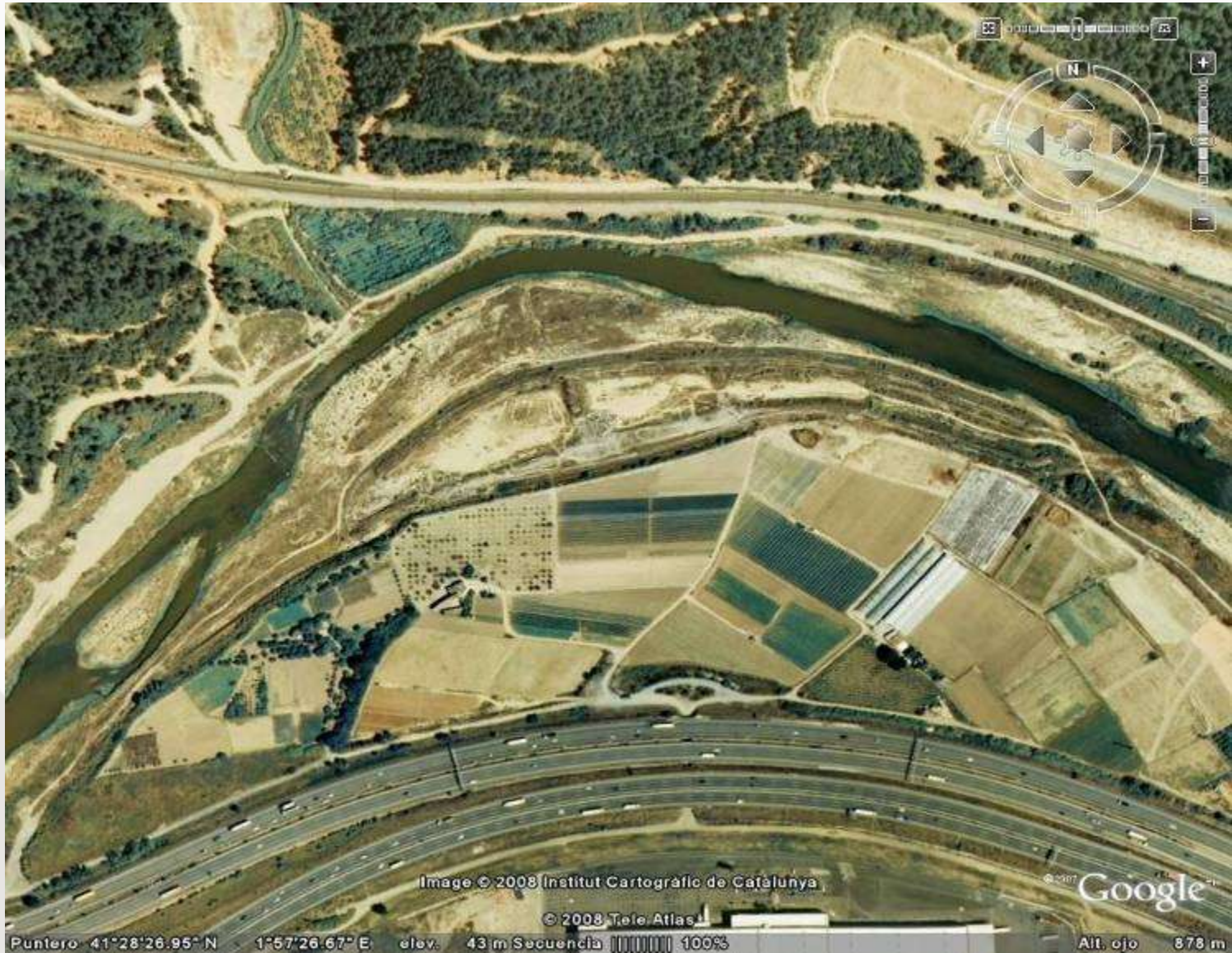




## OBJETIVO

**Incrementa los recursos subterráneos disponibles para la Explotación del acuífero por parte de la Comunidad de Usuarios de la Cubeta de San Andreu.**

**La recarga se realiza con agua bruta procedente del río Llobregat. Se trata primero en una balsa de decantación, en forma de humedal, y después pasa a la balsa de recarga.**

















## Basses de Can Albareda (Castellbisbal)

PROJECTE EXECUTIU-BASSES SEGONS CONVENI ACA-CUACSA 114.439'10 EUR

ESTUDIS D'INVESTIGACIÓ SEGONS CONVENI IGME-CUACSA 177.989'00 EUR

### CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques

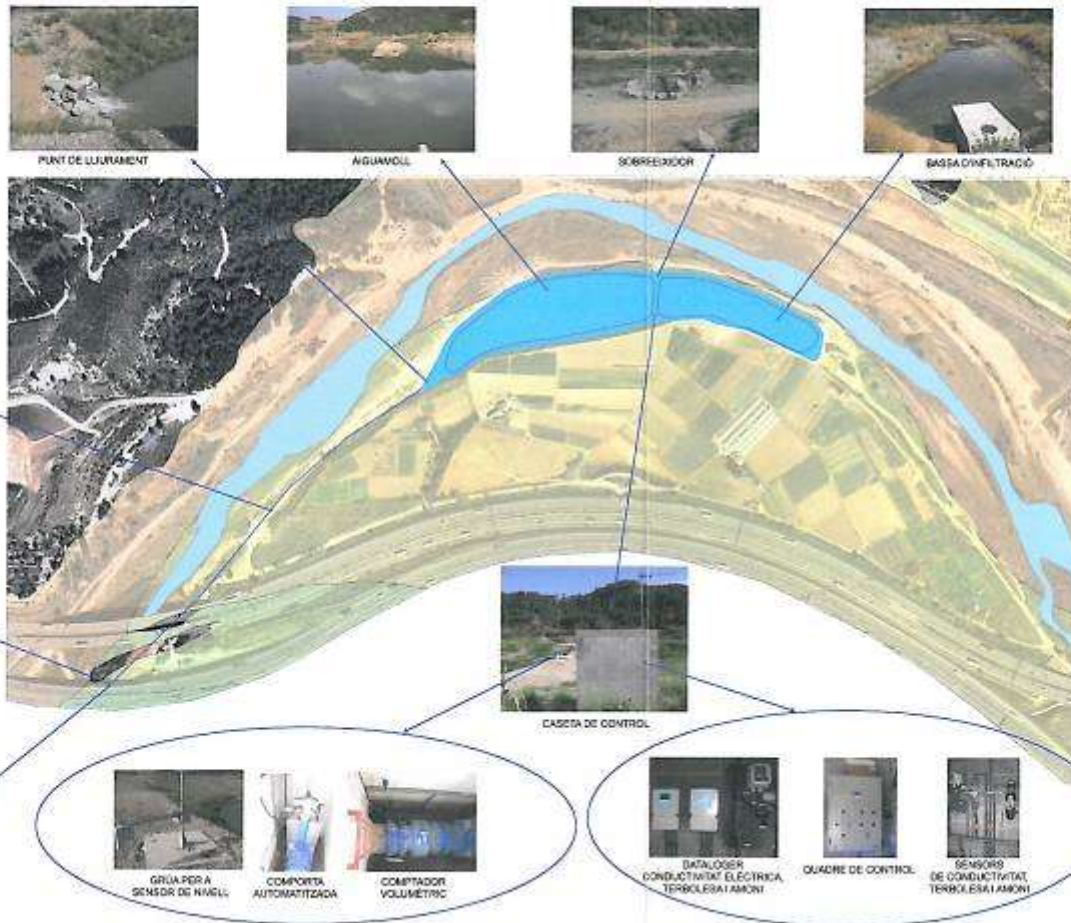
Superfície aljubada	33.000 m <sup>2</sup>
Superfície infiltrada	6.000 m <sup>2</sup>
Taxa infiltració prevista	1-2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia
Cabdal derivació inicial	Q <sub>1</sub> > 5 m <sup>3</sup> /s ⇒ 100 L/s 5 m <sup>3</sup> /s < Q <sub>1</sub> < 2 m <sup>3</sup> /s ⇒ 100 L/s Q <sub>1</sub> < 2 m <sup>3</sup> /s ⇒ 6 L/s
Reserva mitja anual	1,6 hm <sup>3</sup> /any
Conductivitat elèctrica	< 2 mS/cm
Arseni	< 0,5 mg/L
Turbidesa	< 100 NTU

### LLEGENDA

RIU LLOBREGAT	GEOLOGIA
	Qac3
	Qib
	Qid
	Qe1
	Qe2
	Qe3



Març 2010  
Departament Tècnic CUACSA



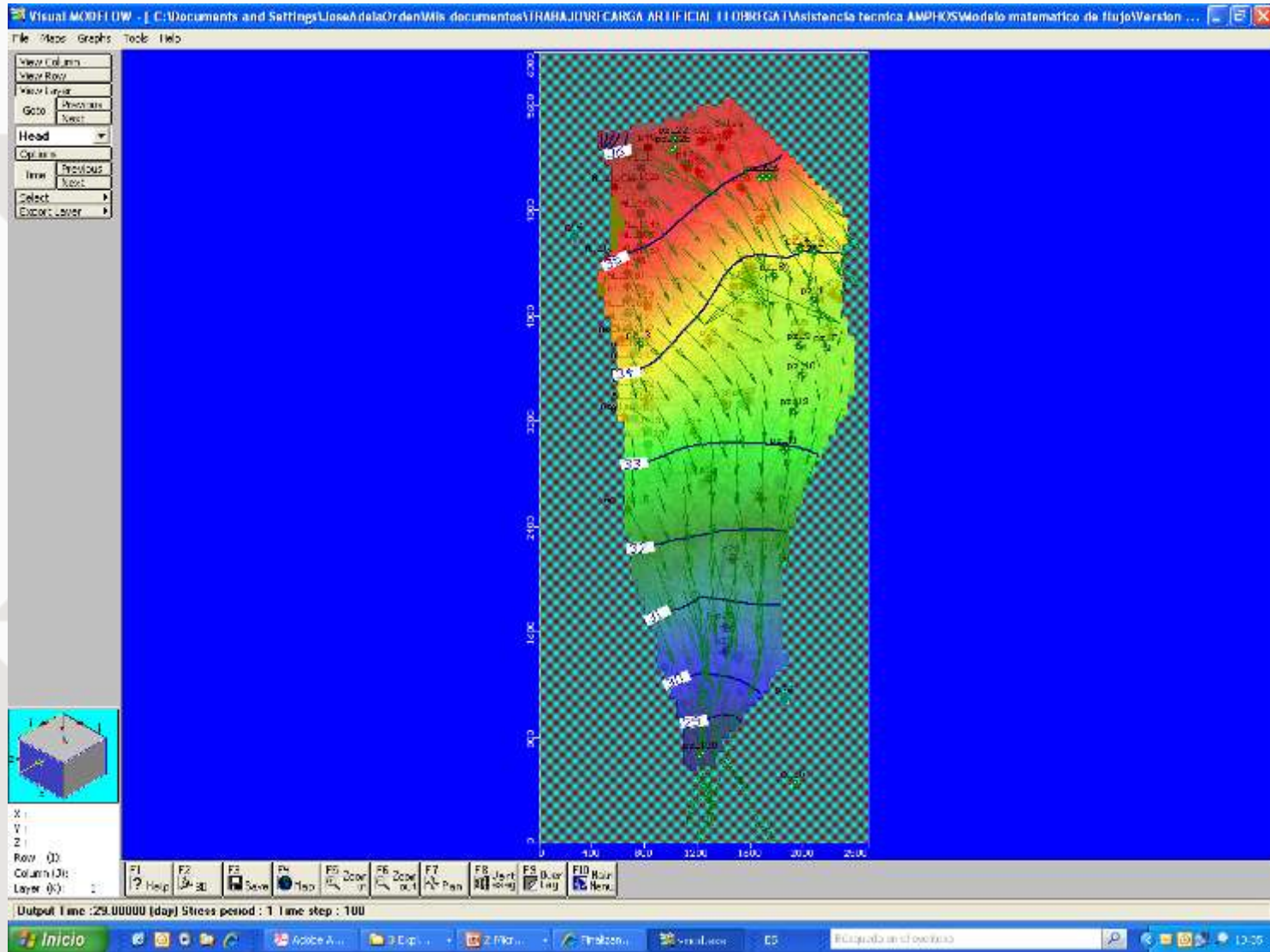








## MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO



## MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO



## TRABAJOS EN CURSO:

- **Evaluación cuantitativa y cualitativa de la recarga.**
- **Estudio de la colmatación. Muestreo del sedimento depositado en el fondo del humedal, caracterización mineralógica del mismo y correlación de su evolución con la pluviometría de la cuenca, con especial incidencia en episodios de avenidas.**
- **Estudio del comportamiento de la zona no saturada como depurador de contaminantes.**
- **Estudio de la presencia de contaminantes emergentes y su distribución en la zona no saturada hasta llegar al nivel freático.**



Instituto Geológico  
y Minero de España